

Mecânica e Campo Eletromagnético - Trabalho Prático 1

Universidade de Aveiro

Tiago Garcia, Rúben Gomes, Bruno Santos



Mecânica e Campo Eletromagnético - Trabalho Prático 1

Dept. de Eletrónica, Telecomunicações e Informática
Universidade de Aveiro

Tiago Garcia, Rúben Gomes, Bruno Santos
(114184) tiago.rgarcia@ua.pt, (113435) rlcg@ua.pt, (113446) brunommsantos@ua.pt

16 de dezembro de 2023

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Fórmulas	1
1.2	Objetivos	1
2	Detalhes Experimentais Relevantes	2
2.1	Material	2
2.2	Parte A	3
2.2.1	Procedimento	3
2.3	Parte B	3
2.3.1	Procedimento	3
3	Análise e Discussão	4
3.1	Parte A	4
3.1.1	Resultados	4
3.1.2	Análise	4
3.1.3	Discussão	4
3.2	Parte B	5
3.2.1	Resultados	5
3.2.2	Análise	5
3.2.3	Discussão	5
4	Conclusões	6

Capítulo 1

Introdução

1.1 Fórmulas

Para a resolução deste trabalho, foram consideradas as seguintes fórmulas, após certas deduções:

- $B_{sol} = \mu_0 \left(\frac{N}{l}\right) I_s$ (1)

- $\frac{\Delta C}{C} = \frac{\frac{\Delta N}{N}}{\frac{N}{l}} + \frac{\Delta m}{m}$ (2)

- $B = C_c V_H$ (3)

- $\vec{B}(x) = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + (x-x_0)^2)^{3/2}}$ (4)

- $C_c = \frac{\mu_0 \frac{N}{l}}{m}$ (5)

- $\frac{N}{l} = \frac{B_{max}}{B_x}$ (6)

Para algumas destas fórmulas foi usada a constante μ_0 que representa a permeabilidade magnética do vácuo, e é equivalente a $4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho foi, na parte A, calibrar uma sonda de efeito de Hall, obtendo assim a sua constante de calibração (C_c), e calcular o seu respetivo erro.

Na parte B, foi calculado o campo magnético ao longo do eixo de duas bobinas na configuração de Helmholtz, utilizando uma sonda de Hall. Também foi estimado o número de espiras das bobinas.

Capítulo 2

Detalhes Experimentais Relevantes

2.1 Material

1. Voltímetro
2. Amperímetro
3. Fonte de tensão de 15 V
4. Resistência de 10 Ω
5. Reóstato de 330 Ω
6. Sonda de efeito de Hall
7. Solenoide
8. Bobines de Helmholtz

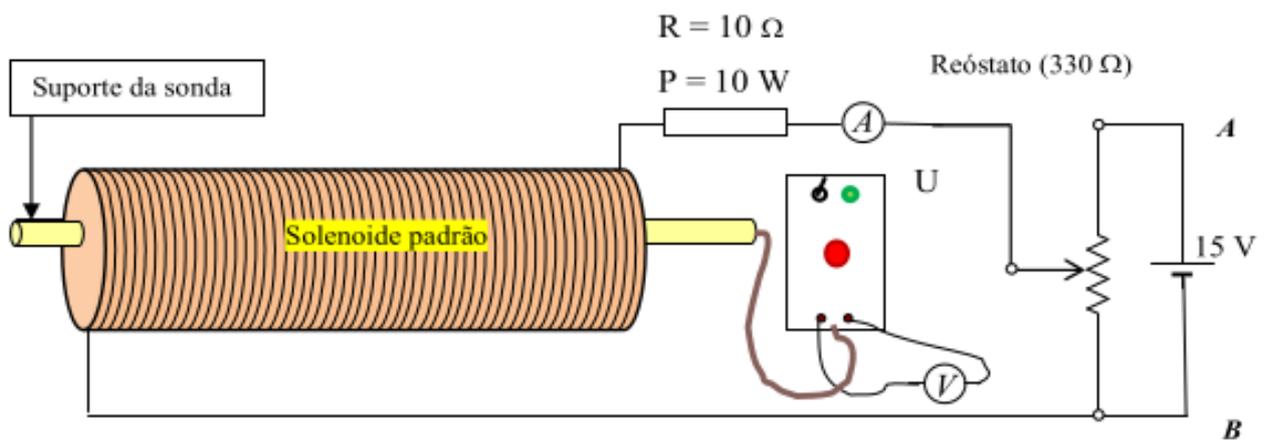


Figura 2.1: Montagem experimental

2.2 Parte A

Esta primeira parte do trabalho foi realizada com o objetivo de calibrar a sonda de efeito de Hall, obtendo assim a sua constante de calibração (C_c), a ser usada na segunda parte do trabalho.

2.2.1 Procedimento

1. Liga-se a sonda ao voltímetro e regula-se o potenciômetro da sonda para que o voltímetro indique $0 V$ quando não está sujeita a um campo magnético.
2. Monta-se agora o resto do circuito, como na figura 2.1.
3. Regista-se o valor $\frac{N}{l}$, que é o número de espiras por unidade de comprimento do solenoide.
4. Coloca-se a sonda no interior do solenoide, procurando o ponto onde a aproximação utilizada de solenoide infinito.
5. Ajusta-se o reóstato de modo a obter 10 valores de corrente I_S diferentes, registrando-se os diferentes valores da tensão V_H para cada valor da corrente.

2.3 Parte B

2.3.1 Procedimento

1. Colocam-se as bobines na configuração de Helmholtz, com uma distância entre elas igual ao seu raio.
2. Registam-se os dados das bobines, nomeadamente o raio e posição de cada uma.
3. Monta-se agora o resto do circuito, como na figura 2.1 apenas substituindo o solenoide por uma das bobines.
4. Ajusta-se o reóstato de modo a ter $I = 0.50A$ que será constante durante toda a experiência.
5. Mede-se o campo magnético criado pela bobine ao longo do seu eixo, de centímetro a centímetro, registrando cada par de valores: posição, tensão de Hall (V_H).
6. Repetem-se os passos 3, 4 e 5, mas agora para a segunda bobine (usando as mesmas posições usadas anteriormente).
7. Ligam-se agora ambas as bobines, em série, e mais uma vez registam-se os valores da tensão de Hall para as mesmas posições utilizadas anteriormente.

Capítulo 3

Análise e Discussão

3.1 Parte A

3.1.1 Resultados

Para o cálculo da constante de calibração, foi utilizada a montagem referida no enunciado, e registados os valores de I_s e V_H .

No gráfico abaixo é representada a reta de aproximação da função $V_h = f(I_s)$, elaborada pelo software Excel com base nos dados obtidos experimentalmente.

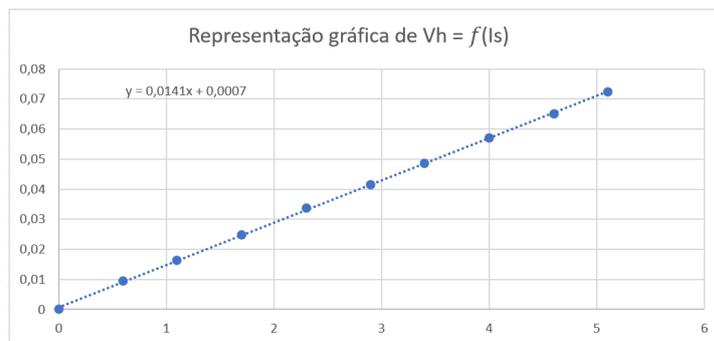


Figura 3.1: Gráfico de representação linear de I_s e V_H

Na seguinte tabela, estão denotados os valores experimentais utilizados na elaboração do gráfico apresentado acima, e o valor calculado para a constante de calibração, C_c .

$I_s(\text{A}) \pm 0,01 \text{ A}$	0	0,06	0,11	0,17	0,23	0,29	0,34	0,4	0,46	0,51
$V_h(\text{V}) \pm 0,0001 \text{ V}$	0	0,0094	0,0163	0,0248	0,0337	0,0416	0,0485	0,0571	0,0651	0,0724
$\sim C_c$	0,30899									

Figura 3.2: Tabela de resultados (parte A)

3.1.2 Análise

Quanto aos resultados obtidos, o valor obtido de C_c foi calculado usando a equação (5), e este tem um erro associado que foi calculado utilizando a equação (2). O desvio associado foi de $\Delta C_c = 2.03 \times 10^{-2}$.

3.1.3 Discussão

Após as medições e cálculos efetuados, foi obtido o gráfico 3.1 e a equação da reta de aproximação cujos valores divergem minimamente dos medidos. O declive desta equação foi utilizado para o cálculo de C_c .

Como $\frac{N}{l}$ e μ_0 são valores constantes, a única variável no cálculo de C_c é apenas o declive da reta da função $f(I_s)$, que está relacionado com os valores medidos, logo estes são a única influência no erro.

Estes erros podem ser, por exemplo, o erro associado aos instrumentos de medição, ou pequenas variações na calibração da sonda.

3.2 Parte B

3.2.1 Resultados

Na parte B, foram efetuadas medições em 3 partes, repartidas em 3 tabelas e gráficos. Estas representam a variação dos campos magnéticos gerados pelas bobines, consoante a posição da sonda de Hall.

Na tabela 1, apenas a bobine imóvel tem corrente elétrica. Na tabela 2, apenas a bobine móvel tem corrente elétrica. Na tabela 3, as duas bobines estão ligadas em série, ambas com a mesma corrente elétrica.

Estas tabelas estão representadas na figura abaixo.

Tabela 1 (Bobine 1)			Tabela 2 (Bobine 2)		Tabela 3 (B1 + B2)	
x (cm) $\pm 0,05$ cm	V_h (mV) $\pm 0,1$ mV	B	V_h (mV) $\pm 0,1$ mV	B	V_h (mV) $\pm 0,1$ mV	B
0	17,5	0,000541503	5,5	0,000170187	22,9	0,000708595
1	16,3	0,000504371	7,1	0,000219695	24,2	0,000748821
2	14,2	0,000439391	9	0,000278487	24,9	0,000770481
3	12	0,000371316	11,3	0,000349656	25	0,000773575
4	9,6	0,000297053	13,7	0,000423919	25,1	0,000776669
5	7,6	0,000235167	15,9	0,000491994	25	0,000773575
6	6,1	0,000188752	17,5	0,000541503	24,6	0,000761198
7	4,7	0,000145432	18,1	0,000560068	23,5	0,000727161
8	3,7	0,000114489	17,6	0,000544597	21,8	0,000674557
9	2,9	8,97347E-05	16,1	0,000498182	19,2	0,000594106
10	2,3	7,11689E-05	13,9	0,000430108	16,3	0,000504371
11	1,8	5,56974E-05	11,4	0,00035275	13,4	0,000414636
12	1,4	4,33202E-05	9	0,000278487	10,8	0,000334184
13	1,1	3,40373E-05	7,2	0,00022279	8,5	0,000263016
14	0,9	2,78487E-05	5,6	0,000173281	6,7	0,000207318
15	0,6	1,85658E-05	4,3	0,000133055	5,2	0,000160904
16	0,5	1,54715E-05	3,4	0,000105206	4,1	0,000126866
17	0,4	1,23772E-05	2,6	8,04518E-05	3,2	9,90176E-05

Figura 3.3: Tabelas representativas dos campos magnéticos

Em baixo está representado os gráficos das respetivas tabelas em função à posição da sonda de Hall.

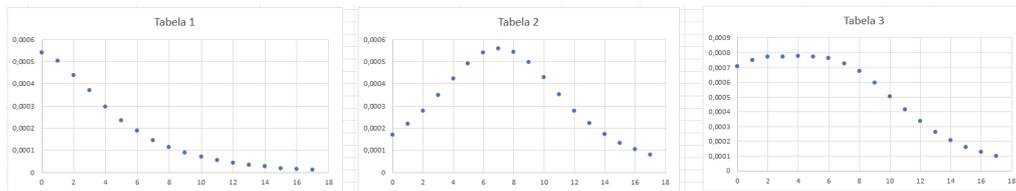


Figura 3.4: Gráficos representativos das tabelas

3.2.2 Análise

O Princípio da Sobreposição do campo magnético consiste em que, numa configuração de Helmholtz, a soma do valor dos campos individualmente gerados numa dada posição da sonda de Hall será igual ao valor medido com as duas bobines ativas.

Ao observar os resultados obtidos, a propriedade fundamental do Princípio da Sobreposição verifica-se de forma aproximada, ou seja, embora a soma dos campos individualmente medidos não seja exatamente igual ao valor medido aquando da medição simultânea dos dois campos, os valores são próximos.

Nos gráficos está apresentado de forma mais clara este princípio. Com isto, podemos afirmar que ocorre sobreposição dos campos magnéticos.

Para estimar o n^o de espiras, foi utilizada a equação (4) para calcular o campo magnético no eixo de um anel de corrente. Após obter o resultado do campo magnético, utiliza-se o B_{max} obtido na tabela 3, usando a equação (6).

3.2.3 Discussão

Dado por completo os cálculos necessários, e a análise dos resultados obtidos, e a discrepância entre os valores teóricos e práticos, para a verificação do Princípio da Sobreposição do campo magnético. Estes desvios são originados por margens de erro, nos valores que este está dependente, como a constante de calibração e as medições da diferença de potencial numa dada posição.

No cálculo do n^o de espiras, o erro associado à estimativa deve-se a diversos fatores, como os erros associados ao cálculo do valor máximo obtido no campo magnético, e o cálculo de $B(x)$.

Capítulo 4

Conclusões

Na primeira parte do trabalho, foi possível obter a constante de calibração da sonda de efeito de Hall, que foi aproximadamente 0.0309. Não existiram grandes problemas na realização desta parte, pelo que foi possível chegar ao valor da constante de calibração sem existir nenhum desvio significativo.

Na segunda parte do trabalho, foi possível obter o campo magnético ao longo do eixo de duas bobines na configuração de Helmholtz, utilizando uma sonda de Hall. Também foi estimado o número de espiras das bobines, que foi aproximadamente $N = 80$ (cada bobine). Durante a experiência surgiram alguns problemas, nomeadamente erros na calibração da sonda, o que fez com que os valores obtidos não fossem imediatamente os esperados.

$$B_{sol} = \mu_0 \frac{N}{l} I_S$$

- B_{sol} - Campo magnético do solenóide (apenas paralelo ao eixo do solenóide)
- μ_0 - Permeabilidade magnética do vácuo (constante, $4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$)
- I_S - Corrente elétrica no solenóide

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\frac{\Delta N}{N}}{\frac{N}{l}} + \frac{\Delta m}{m}$$

Equação usada para calcular o erro relativo da constante de calibração do sensor de Hall.

$$B = C_C V_V$$

Usada para calcular o campo magnético a partir da tensão de saída do sensor de Hall para as bobinas de Helmholtz.

- B - Campo magnético
- C_C - Constante de calibração do sensor de Hall
- V_V - Tensão de saída do sensor de Hall

$$\vec{B}(x) = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + (x - x_0)^2)^{3/2}}$$

As variáveis x e x_0 anulam-se.

- $\vec{B}(x)$ - Campo magnético no ponto x do eixo do solenóide
- μ_0 - Permeabilidade magnética do vácuo (constante, $4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$)
- I - Corrente elétrica no solenóide
- R - Raio do solenóide

$$C_C = \frac{\mu_0 \frac{N}{l}}{m}$$

Resolve parte 1

- C_C - Constante de calibração do sensor de Hall
- μ_0 - Permeabilidade magnética do vácuo (constante, $4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$)
- m - Declive do gráfico $V_V = f(I_S)$

$$\frac{N}{l} = \frac{B_{max}}{B_x}$$

Usada para calcular o número de espiras (parte 2)